

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 69.001.5

**ВКЛАД ИНЖЕНЕРА-КОНСТРУКТОРА ВЛАДИМИРА ГРИГОРЬЕВИЧА ШУХОВА
В РАЗВИТИЕ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

А. В. Долженко, Д. Н. Иванов

Проведен анализ научной деятельности инженера-конструктора В.Г. Шухова, его вклад в развитие и применение гиперболоидных конструкций. Проанализирована актуальность применения данных конструкций в современной архитектуре.

The analysis of scientific activity Engineer Designer V.G. Shukhov and his contribution to the development and application of hyperboloid structures. To assess the relevance of these structures in modern architecture.

Die Analyse der wissenschaftlichen Tätigkeit Engineer Designer V.G. Schuchow und seinen Beitrag zur Entwicklung und Anwendung von Strukturen Hyperboloid. Zur Bewertung der Relevanz dieser Bauwerke der modernen Architektur.

Вступление

Открытия Дмитрия Ивановича Менделеева остаются актуальными даже в наше время, мало того, только сейчас ученые осознают их важность и значимость. Исследования Василия Михайловича Ломоносова так же до сих пор до конца не изучены, и так же приносят огромный вклад в современную науку.

Так и труды Владимира Григорьевича Шухова спустя более пол века становятся актуальными, и находят свое место в современной архитектуре и так же озадачивают и интересуют не малое количество современных инженеров и архитекторов. В данной работе поставим задачей рассмотреть вклад В.Г. Шухова в развитие гиперболоидных конструкций и их применение в современной архитектуре.

В развитие раздела металлических конструкций в целом огромный вклад был внесен Владимиром Григорьевичем Шуховым (16(28).VIII.1853г. – 02.II.1939г.). Открытие во второй половине XIX в. промышленных способов производства и обработки чугуна и стали сделало металл одним из основных строительных материалов и оказало огромное влияние на развитие архитектуры. Прочность и надежность металлических конструкций при относительно малой их массе, возможность изготовления элементов конструкций на заводах и сокращение благодаря этому сроков строительства, жесткие допуски в размерах и форме элементов, обеспечивающие точность монтажа, гибкость планировки зданий с металлическими конструкциями применительно к условиям эксплуатации, возможность демонтажа и повторного использования конструкций определяют рентабельность металла в несущих конструкциях зданий и в инженерных сооружениях. Благодаря металлу все активнее входят в промышленное и гражданское строительство большепролетные сооружения, успешно развивается высотное строительство, сборно-разборные сооружения способствуют освоению труднодоступных районов земли. Металл с успехом заменяет другие материалы в традиционных конструкциях зданий и сооружений, становится важным формообразующим фактором в пространственных стержневых и висячих конструкциях, все полнее и многограннее выявляются его эстетические качества как отделочного и декоративно-художественного материала.

Основная часть

Основные труды Шухова были посвящены технологии и оборудованию для нефтяной промышленности, теплотехники и строительства. В области технологии и оборудования для нефтяной промышленности он нашел ряд принципиально новых решений задач в области добычи, производства, хранения и транспортировки нефти: в 1889 построил и сдал в эксплуатацию в Баку первую установку для перегонки нефти, на которую получил свою первую привилегию России (патент) на изобретение № 4068 «Устройство для непрерывной дробной перегонки нефти» с приоритетом от 31 декабря 1888, в том же году разработал способ выкачивания нефти из скважин путем накачки в них воздуха или воды (патенты России №№ 11531 «Эрлифт-насос» за 1889 и 4782

«Гидравлический дефлегматор» от 25.09.1890). В 1891 Шухов запатентовал промышленную установку для перегонки нефти с разложением, в которой впервые в мире осуществлялся крекинг-процесс в жидкой фазе. Руководил строительством первого в России нефтепровода от Балаханских нефтяных промыслов до Баку (1897), создал первый в мире мазутопровод с подогревом перекачиваемого мазута отработавшим паром паровых насосов. Спроектировал нефтеналивные суда грузоподъемностью до 12 000 тонн. Параллельно, еще с 1890-х, Шухов начинает заниматься конструированием водотрубных паровых котлов (патенты России №№ 6205 и 6206 от 27 июня 1896г., № 23839 от 30 апреля 1913г., патенты СССР №№ 1097 и 1596 от 1926г., № 2520 от 1927г.) для паровозов, доведя время готовности паровоза к старту всего лишь до 20 – 30 минут. Котлы «системы Шухова» завоевали золотую медаль международной выставки в Париже и вскоре обрели всемирную известность. В области строительной техники им разработаны конструкции легких и экономичных покрытий различных типов (патенты России №№ 1894 «Сетчатые покрытия для зданий» и 1895г. «Сетчатые сводообразные покрытия» от 12 марта 1899г.). Одно из таких «покрытий» реализовано, например, в конструкции и ныне существующего дебаркадера Киевского вокзала в Москве (построен в 1915г.).

В дальнейшем, при проектировании различных инженерных сооружений, машин и механизмов наибольшее распространение в его трудах получили поверхности, образующиеся вращением прямой линии и кривых второго порядка такие как:

1. Эллипсоид вращения образуется вращением эллипса вокруг большой или малой оси.
2. Параболоид вращения образуется вращением параболы вокруг ее оси.
3. Однополостный гиперболоид вращения образуется вращением гиперболы вокруг ее мнимой оси. Эта поверхность образуется также вращением прямой
4. Двуполостный гиперболоид вращения образуется вращением гиперболы вокруг ее действительной оси.

Патентом № 1896 Шухов защитил конструкцию ажурной башни в виде однополостного кругового гиперболоида. Гиперболоидные башни, которые монтировались только из прямолинейных брусьев и не содержали ни одного гнутого элемента, нашли применение и в качестве водонапорных башен, и в качестве маяков. Сетчатая башенная конструкция системы Шухова образованна пересекающимися прямолинейными стержнями, расположенными по поверхности однополостного гиперболоида. Само изобретение датируется январем 1896 года. Позже по системе Шухова было построено более 200 стальных сооружений: водонапорные башни, морские маяки, радиобашни, опоры линий электропередач, вышки на судах военного флота, пожарные и сигнальные башни.

Многоярусные башни, состоящие из нескольких гиперболоидных секций, поставленных одна на другую, монтируются "телескопическим" методом, специально разработанным Шуховым. Внутри нижней части башни, смонтированной в проектном положении, последовательно собирают, а затем поднимают следующие секции. Чтобы нижняя часть поднимаемой секции могла пройти через верхнее кольцо, уже смонтированной конструкции, секцию временно стягивают.

Гиперболическая конструкция башни Шухова собирается в основном из прямолинейных стержней, легко перевозимых и обрабатываемых несложным оборудованием. Не смотря на то, что сегодня в строительстве применяются более современные и легкие конструкции, башни Шухова по-прежнему находят свое применение, например, в качестве лесов при возведении железобетонных градиен.

Одна из башен, соответствующих патенту № 1896, высотой 150 м, была построена в 1921 году в Москве для первой всероссийской радиотелеграфной станции, которая является произведением инженерного искусства, предварившим применение в строительстве гиперболоидов – конструкций двойкой кривизны, образованных движением прямого стержня по гиперболе.

Её до сих пор называют «башней Шухова». Радиобашня – Шаболовская башня – памятник инженерного искусства и символ отечественного телевидения. Башня возводилась по личному заданию В. И. Ленина. И, когда инженера Владимира Шухова вызвали и предложили начать работу, у конструктора уже был готовый проект.

С установкой двух траверс и флаштока высота Шуховской башни достигла 160 метров. Шуховская башня имеет оригинальную изящную сетчатую конструкцию, благодаря чему достигается минимальная ветровая нагрузка, представляющая главную опасность для высоких

сооружений. По форме секции башни – это однополостные гиперboloиды вращения, сделанные из прямых балок, упирающихся концами в кольцевые основания. Ажурная стальная конструкция сочетает в себе прочность и легкость: на единицу высоты Шуховской башни израсходовано в три раза меньше металла, чем на единицу высоты Эйфелевой башни в Париже. Проект Шуховской башни высотой 350 метров имел расчетную массу всего лишь 2200 тонн, а Эйфелева башня при высоте 310 метров весит около 8850 тонн.

Круглый конусный корпус башни состоит из 6 секций высотой 25 метров каждая. Нижняя секция установлена на бетонном фундаменте диаметром 40 метров и глубиной 3 метра. Элементы башни скреплены на заклёпках. Строительство башни велось без лесов и подъемных кранов. Верхние секции по очереди собирались внутри нижней и при помощи блоков и лебедок поднимались друг на друга. За свою более чем 80-летнюю историю Шуховская башня служила опорой для антенн крупных радио- и телевизионных станций.

В. Г. Шухов изобрёл способ устройства сетчатых гиперboloидных башен (патент Российской империи № 1896 от 12 марта 1899 г., заявлен 11 января 1896 года). Первая в мире гиперboloидная башня была построена Шуховым на Всероссийской художественно-промышленной выставке в Нижнем Новгороде в 1896 году. Принцип устройства гиперboloидных башен В. Г. Шухов использовал в сотнях сооружений: водонапорных башнях, опорах линий электропередач, мачтах военных кораблей.

Решетчатая основа башни позволяет неплохо сэкономить на материале, а кроме того снизит ветровую нагрузку, которая представляет такую опасность для обычных цилиндрических башен.

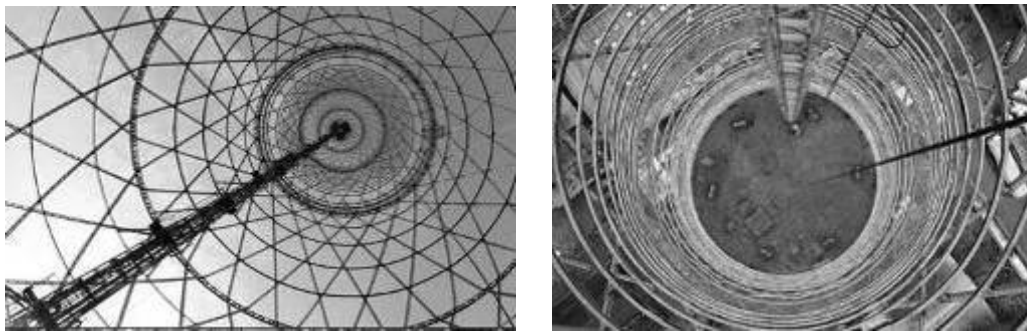


Рис. 1. Вид вверх от основания Шуховской башни – и вниз, со смотровой площадки

Во время усиления элементов башни был нарушен основной принцип, заложенный Шуховым при её проектировании – определённая доля подвижности и самокомпенсации по отношению к внешним нагрузкам. Башня напоминала куклу-неваляшку. Но в 50-е годы основание было залито бетоном. Регулярные телевизионные трансляции (четыре раза в неделю) через передатчики Шуховской башни начались 10 марта 1939 года.

Сейчас Шуховская башня признана международными экспертами одним из высших достижений инженерного искусства. На международной научной конференции «Heritage at Risk. Сохранение архитектуры XX века и Всемирное наследие», прошедшая в апреле 2006 года в Москве с участием более 160 специалистов из 30 стран мира в своей декларации назвала Шуховскую башню в числе семи архитектурных шедевров русского авангарда, рекомендованных на Включение в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Мировое значение Шуховской башни подтверждают экспозиции её макетов на престижных архитектурных выставках Европы последних лет. На выставке «Инженерное искусство» в центре Помпиду в Париже изображение Шуховской башни использовалось как логотип.

Интересно, что первая гиперboloидная башня была возведена Шуховым еще до официального одобрения патента – летом 1896 г. она стала украшением крупнейшей в дореволюционной России промышленной и художественной выставки в Нижнем Новгороде.

Нижняя 25-метровая часть башни образована 80-ю пересекающимися стальными профилями, сверху и снизу прикрепленными к кольцевым основаниям (нижнее – 11 м, верхнее 4 м в диаметре). Для большей прочности сетка стянута 8-ю параллельными кольцами. Башня была не просто достопримечательностью, но и экспонатом, которым Шухов демонстрировал свой проект дешевых и надежных водонапорных башен. Сверху на 4-метровое кольцо устанавливался 6,5-

метровый бак с водой, на который можно было подняться с помощью стальной спиральной лестницы.

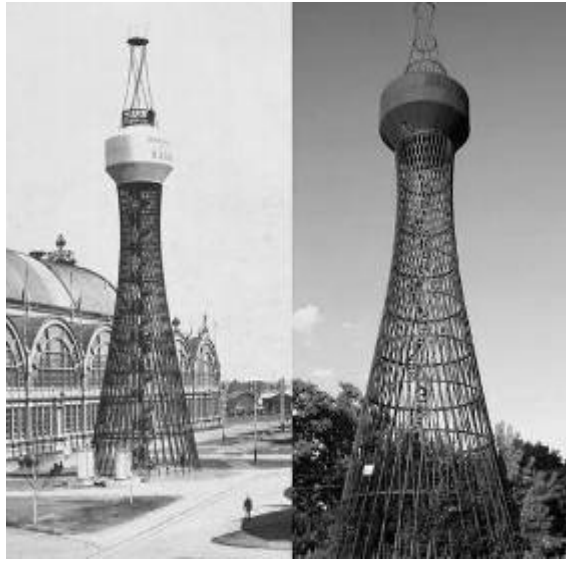


Рис. 2. Первая гиперboloидная башня В.Г. Шухова летом 1896 г. и в наши дни

После Нижегородской выставки 1896 г. первая шуховская башня была перевезена в село Полибино Липецкой области, где жил известный меценат Юрий Нечаев-Мальцов. Она сохранилась и поныне и является памятником федерального значения.

Для удовольствия публики на баке была смонтирована большая смотровая площадка, а также дополнительный малый гиперboloидный модуль, ведущий на малую площадку. В общем высота ее достигала более 30 метров. Фурор, который она произвела, не пропал втуне, и в следующие 15 лет такие башни появились в десятках городов России. Некоторые из них стоят до сих пор.

На той же выставке Шухов представил и другие варианты использования решетчатых конструкций – для крыш и перекрытий. Эти конструкции на основе гиперboloида сделали Шухова родоначальником целого направления в инженерии и архитектуре. Около 1898 г. в той же Нижегородской области по его плану были возведены здания листопрокатного цеха Выксунского металлургического завода длиной 75 и шириной более 38 метров. Они стоят и по сей день!

Открытый Шуховым архитектурно-инженерный принцип казался универсальным: он использовал его для десятков сооружений – и башен, и перекрытий (в том числе в ГУМе, на Киевском и Казанском вокзалах Москвы), мостов и даже для корабельных мачт.

Есть в России и еще одна примечательная башня, возведенная Шуховым. Под все тем же Нижним Новгородом – городом, который уже сыграл в жизни архитектора такую большую роль, – на низком берегу Оки стоит единственная в мире опора ЛЭП в виде решетчатой гиперboloидной башни.

Эта высоченная 128-метровая конструкция – единственное, что осталось от построенных в конце 1920-х трех пар башен (две другие пары имели в высоту 68 и 20 м), которые поддерживали провода, протянувшиеся над рекой. Многие годы спустя, когда маршрут высоковольтных линий был изменен, малые пары башен демонтировали. Оставшиеся две башни были признаны памятниками культурного наследия – но в начале 2000-х одна из них была разобрана. Конструкция Шухова обладает огромным запасом прочности: несмотря на отсутствие части основания, башня умудрилась простоять несколько лет до восстановления, притом что нижняя ее часть затопляется весенним паводком.

Самая высокая односекционная башня Шухова – Адзигольский маяк под Херсоном – имеет в высоту 70 м.

Гиперboloидные сетчатые башни использовались также и в качестве корабельных мачт. Они сохраняли устойчивость даже после многих попаданий снарядов в них. Первые такие мачты были установлены на линкоре «Император Павел I» в 1903. Так как патент Шухов действовал только на территории России, то американцы тут же начали оснащать гиперboloидными

сетчатыми мачтами и свои военные корабли.



Рис. 3. Применение гиперболоидных конструкций в качестве корабельных мачт

Шухов было построено также около 500 мостов, в частности, через такие реки, как Волга, Ока, Енисей. Он же выполнил работы по выпрямлению минарета медресе Улугбека в Самарканде и много др. инженерных работ. Во время 1-й мировой войны Шухов спроектировал более 40 типов подводных мин, создал принципиально новую конструкцию платформы для тяжелых артиллерийских орудий, которые, кроме своей основной функции, служили и для передвижения этих орудий. За период с 1888 по 1934 в царской России и в СССР Ш. получил всего 17 патентов на изобретения — большинство своих многочисленных изобретений Шухов считал патентовать нецелесообразным.

В 1963 г. по заветам Шухова в японском порту Кобе возвели 108-метровую башню, которая выполнена в виде комбинации несущей сетчатой оболочки и центрального ядра. Используется для обзора панорамы порта и города. Башня рассчитана на приём 3000 туристов в день. Даже во время 7-балльного землетрясения, случившегося в 1995 г., башня выстояла.

Шуховский гиперболоид представляет собой и 318-метровая башня Aspire в столице Катара Дохе. Это внушительное сооружение в виде факела было открыто в 2006г. Интересно, что прочность конструкции позволила разместить здесь настоящий спортивный бассейн – в 80 м над уровнем земли. Башня стала одним из символов XV Азиатских игр, прошедших в Катаре в декабре 2006 года. Aspire Tower стала самым высоким в истории местом расположения Олимпийского огня.

Есть гиперболоидные башни в Польше и Бразилии, Испании и Австралии, Чехии и Швейцарии. Сетчатые конструкции использовали, наверное, все великие архитекторы XX века – и Антонио Гауди, и Оскар Нимейер... даже знаменитые здания-шары Бакминстера Фуллера имеют решетчатую основу, изобретенную Шуховым.

Не устарели подобные гиперболоиды и в XXI веке. Более того, сегодня самые дерзкие проекты имеют в своей основе именно такую сетчатую структуру – достаточно вспомнить японский проект башни-города на миллион жителей («Дом-монстр»). Вообще, сетчатые конструкции сегодня становятся основой самых фантастических проектов. Они используются в туннелях, в куполах и, конечно, в башнях. Так, в Китае расположена самая высокая телебашня в мире - Гуанчжоу. Построена она была в 2005-2010 годах к Азиатским Играм 2010 года компанией ARUP. Высота телебашни составляет 610 метров. До высоты 450 метров башня возведена в виде комбинации гиперболоидной несущей сетчатой оболочки и центрального ядра. Гиперболоидная конструкция сетчатой оболочки телебашни Гуанчжоу соответствует патенту 1899 года русского инженера В. Г. Шухова. Сетчатая оболочка башни выполнена из стальных труб большого диаметра. Башню венчает стальной шпиль высотой 160 метров. Башня предназначена для трансляции ТВ- и радио-сигналов, а также для обзора панорамы города Гуанчжоу и рассчитана на приём 10 000 туристов в день. (снимок 2007 г.).

Существует и еще один впечатляющий проект на основе шуховского гиперболоида. Это небоскреб Vortex, который предлагает возвести в лондонском Сити известный английский архитектор Кен Шаттлворт (Ken Shuttleworth). Можно сказать, это «расширенное прочтение» классических канонов Шухова: башня станет не пустотелой, а разместит в себе вполне обыкновенные этажи с офисами. Кроме того, она представляет собой как бы двойной

гиперболоид, сходящийся от основания к середине – и к вершине снова раскрывающийся на манер воронки.

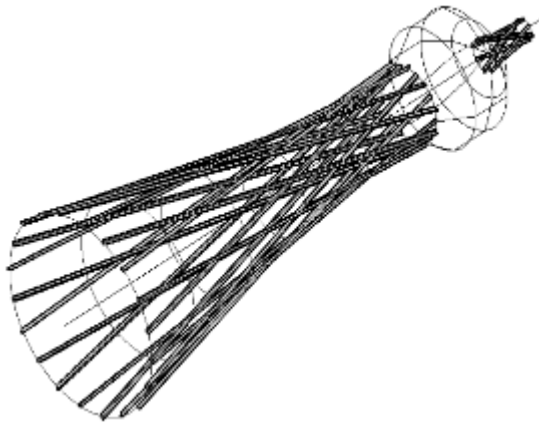


Рис. 4. Расчетная модель первой Шуховской башни

Умер великий авангардист от архитектуры в 1939 г. Его имя носят улицы и парки ряда городов. В честь Шухова в 1990 г. учреждена престижная Золотая медаль, высшая награда для российских инженеров. В Москве на Сретенском бульваре установлен памятник Владимиру Шухову, инженеру и архитектору, который во многом определил облик современных городов мира.

Так же имя великого русского изобретателя и инженера носит Белгородский государственный технологический университет, в котором в данное время ведется разработка проекта макета башни, спроектированной Шуховым для Нижегородской выставки. Высота макета-башни по проекту должна составить более 8,5 метров, а расположить ее предполагается при главном въезде в университет. При создании данного проекта был произведен расчет с целью подбора рационального сечения элементов конструкции, который. Конструкция удивила своей легкостью, прочностью, устойчивостью и экономичностью. В проекте основная часть конструкция состоит из двадцати прямолинейных стержней, четырех промежуточных колец и двух опорных.

Выводы

- Данный проект направлен на поддержание исторического и культурного достояния университета. Это должная дань великому ученому, чтобы память о нем на веки сохранилась в сознаниях людей и сподвигала студентов, обучающихся в данном университете, к великим и не менее значимым для архитектуры и науки в целом открытиям.
- Имя Владимира Григорьевича Шухова можно смело вписать в ряд вместе с такими личностями как Дмитрий Иванович Менделеев, Михаил Васильевич Ломоносов, Леонардо да Винчи. Его труды еще не до конца изучены современной наукой, и принесут еще не мало пользы для человечества.

Список литературы

1. Энгель Х. Несущие системы / Хайно Энгель. – Москва : АСТ : Астрель, 2007. – 344 с.
2. Шухов В. Г. Строительная механика. Избранные труды / Владимир Григорьевич Шухов – Москва : Наука, 1977. – 193с.
3. Райнер ГрEFE. Искусство конструкций. / ГрEFE Р. Шухов В. Г.– Москва : Мир, 1995. – 192с.

Долженко Александр Валериевич – ассистент кафедры ПГС БГТУ им. В. Г. Шухова.

Иванов Дмитрий Николаевич – студент 5 курса Архитектурно-строительного института Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова.